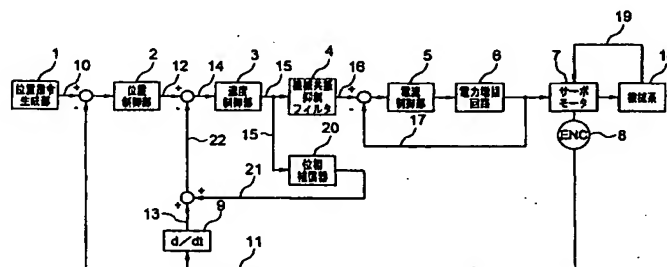




<p>(51) 国際特許分類6 H02P 5/00, G05B 11/36</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO00/70739</p> <p>(43) 国際公開日 2000年11月23日(23.11.00)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP99/02521</p> <p>(22) 国際出願日 1999年5月14日(14.05.99)</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA)[JP/JP] 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてののみ) 筒井和彦(TSUTSUI, Kazuhiko)[JP/JP] 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo, (JP)</p> <p>(74) 代理人 弁理士 曾我道照, 外(SOGA, Michiteru et al.) 〒100-0005 東京都千代田区丸の内三丁目1番1号 国際ビルディング8階 曾我特許事務所 Tokyo, (JP)</p>		<p>(81) 指定国 DE, GB, JP, KR, US</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>

(54) Title: SERVOCONTROL

(54) 発明の名称 サーボ制御装置



- 1 ... POSITION COMMAND GENERATOR
- 2 ... POSITION CONTROL
- 3 ... SPEED CONTROL
- 4 ... MACHINE VIBRATION SUPPRESSING FILTER
- 5 ... CURRENT CONTROL
- 6 ... POWER AMPLIFIER
- 7 ... SERVOMOTOR
- 18 ... MACHINE SYSTEM
- 20 ... PHASE COMPENSATOR

(57) Abstract

A servocontrol for driving a machine system using a servomotor comprises a phase compensator to compute speed components (phase delay compensating signal) corresponding to the phase delay caused by a resonance suppression filter provided to suppress the resonance and vibrations due to the eigenfrequency of the machine system. The instability of the servo system because of the phase delay caused by the application of the resonance suppression filter is suppressed by control using the sum of a speed component (phase delay compensating signal) and the actual speed of the motor as a speed feedback signal, thus realizing high-gain operation.

明 細 書

サーボ制御装置

技術分野

この発明は、サーボ制御装置に関し、特に、工作機械等を駆動するサーボモータの制御のためのサーボ制御装置に関するものである。

背景技術

図 1 4 は、従来のサーボ制御装置を示したブロック図である。図において、1 は位置指令生成部、2 は位置制御部、3 は速度制御部、4 は機械系の固有振動数等による共振や振動の除去を目的に設けられた、例えばノッチフィルタ等からなる機械共振抑制フィルタ、5 は電流制御部、6 は例えば電力増幅回路等からなる電流駆動手段である。7 は機械系を駆動するサーボモータ、8 はサーボモータ 7 の回転位置を検出するエンコーダ、9 はエンコーダ 8 の出力する位置検出信号を微分して速度を算出する微分手段である。なお、エンコーダ 8 及び微分手段 9 により、モータ速度の検出手段が構成される。

1 0 は位置指令生成部 1 から出力される位置指令信号、1 1 はエンコーダ 8 から出力されるサーボモータ 7 の回転位置を示す位置フィードバック信号、1 2 は位置制御部 2 から出力される速度指令信号、1 3 は微分手段 9 から出力される速度検出信号（速度フィードバック信号）、1 4 は速度指令信号 1 2 と速度検出信号 1 3 との差分である速度偏差信号、1 5 は速度制御部 3 から出力される電流指令信号、1 6 は機械共振抑制フィルタ 4 を通して再度生成されたフィルタ出力電流指令信号、1 7 はサーボモータ 7 に流れる電流を示す電流フィードバック信号である。

このサーボ制御装置は、位置指令生成部 1 により出力される位置指令信号 1 0 にエンコーダ 8 より検出されたサーボモータ 7 の回転位置を示す位置フィードバック信号 1 1 が追従するように、サーボモータ 7 を制御するように構成されている。また、この動作を高速安定に行うために位置指令信号 1 0 と位置フィードバ

(57)要約

サーボモータにより機械系を駆動するサーボ制御装置において、機械系のもつ固有振動数による共振や機械振動を抑制するために設けられた機械共振抑制フィルタにより生じる位相遅れに相当する速度成分（位相遅れ補償信号）を演算するための位相補償器を備え、当該速度成分（位相遅れ補償信号）を実際のモータ速度に加えたものを速度フィードバック信号として制御に用いて、機械共振抑制フィルタの適用により生じた位相遅れによるサーボ系の不安定さを抑制し、ハイゲイン化を実現する。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	DM	ドミニカ	KZ	カザフスタン	RU	ロシア
AG	アンティグア・バーブーダ	DZ	アルジェリア	LC	セントルシア	SD	スーダン
AL	アルバニア	EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SE	スウェーデン
AM	アルメニア	ES	スペイン	LK	スリ・ランカ	SG	シンガポール
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SI	スロヴェニア
AU	オーストラリア	FR	フランス	LS	レソト	SK	スロヴァキア
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LT	リトアニア	SL	シエラ・レオネ
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB	英国	LU	ルクセンブルグ	SN	セネガル
BB	バルバドス	GD	グレナダ	LV	ラトヴィア	SZ	スワジランド
BE	ベルギー	GE	グルジア	MA	モロッコ	TD	チャード
BF	ブルキナ・ファソ	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BG	ブルガリア	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BJ	ベナン	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BR	ブラジル	GR	ギリシャ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR	トルコ
BY	ベラルーシ	GW	ギニア・ビサウ		共和国	TT	トリニダード・トバゴ
CA	カナダ	HR	クロアチア	ML	マリ	TZ	タンザニア
CF	中央アフリカ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
CG	コンゴ	ID	インドネシア	MR	モーリタニア	UG	ウガンダ
CH	スイス	IE	アイルランド	MW	マラウイ	US	米国
CI	コートジボアール	IL	イスラエル	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CM	カメルーン	IN	インド	MZ	モザンビーク	VN	ヴェトナム
CN	中国	IS	アイスランド	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラヴィア
CR	コスタ・リカ	IT	イタリア	NL	オランダ	ZA	南アフリカ共和国
CU	キューバ	JP	日本	NO	ノルウェー	ZW	ジンバブエ
CY	キプロス	KE	ケニア	NZ	ニュージーランド		
CZ	チェッコ	KG	キルギスタン	PL	ポーランド		
DE	ドイツ	KP	北朝鮮	PT	ポルトガル		
DK	デンマーク	KR	韓国	RO	ルーマニア		

ック信号 1 1 との偏差信号にもとづき位置制御部 2 が速度指令信号 1 2 を生成する。さらに、位置フィードバック信号 1 1 に基づいて微分手段 9 により生成される速度フィードバック信号 1 3 が、速度指令信号 1 2 に追従するように、速度制御部 3 がサーボモータ 7 への電流指令信号 1 5 を出力している。

1 6 は、上述したように、機械共振抑制フィルタ 4 が出力するフィルタ出力電流指令信号である。サーボモータ 7 に流れる電流値を示す電流フィードバック信号 1 7 が電流指令信号 1 6 に追従するように、電流制御部 5 および電力増幅器 6 はサーボモータ 7 に流す電流を制御する。また、1 8 はサーボモータ 7 により駆動される機械系で、これによる反力 1 9 がサーボモータ 7 の出力に作用する。

ここで、サーボモータ 7 の指令に対する追従性を高めるために位置指令信号 1 0 から位置フィードバック信号 1 1 までの位置ループの応答性、あるいは、速度指令信号 1 2 から速度フィードバック信号 1 3 までの速度ループの応答性を上げていくと、サーボモータ 7 が駆動する機械系 1 8 に存在する固有振動数により機械共振や振動が発生し、機械系 1 8 の動作だけでなく、サーボモータ 7 の制御ループ自体にも不安定さをもたらす。

上記のような従来のサーボ制御装置においては、機械共振や振動を低減する目的で、機械共振抑制フィルタ 4 が電流指令信号 1 5 及び 1 6 の間に挿入されているが、機械系 1 8 の固有振動数が低く機械共振や振動の周波数が低い場合、機械共振抑制フィルタ 4 の共振除去周波数の設定も低くとらなければならない、その結果、この機械共振抑制フィルタ 4 の設定周波数が速度ループの応答帯域に近づくと、サーボ制御ループ、特に、速度指令信号 1 2 から速度フィードバック信号 1 3 までの位相の遅れの影響が大きくなり、速度指令信号 1 2 から速度フィードバック信号 1 3 までの閉ループである速度ループの位相余裕がなくなり、制御系が不安定となる。これは、サーボ制御系の応答性を向上させサーボシステムの目的である位置指令信号 1 0 への位置フィードバック信号 1 1 の追従性の向上においても性能を上げることの妨げとなるという問題点があった。

また、機械共振抑制フィルタ 4 としては、ある固定周波数成分だけを除去するノッチフィルタが多く用いられるが、機械系 1 8 の固有振動数は複数存在する場合が多く、全ての機械共振をノッチフィルタにより取り除くのは困難である。こ

れに対して、機械共振抑制フィルタ 4 にローパスフィルタを用い、ある特定の周波数以上のゲインを落とすことも考えられるが、この場合、設定周波数に対してかなり低い周波数帯域から位相が遅れはじめるため、速度ループの制御帯域においても影響を与えやすく、ノッチフィルタに対してさらに速度ループの位相余裕を得ることが難しいという問題点があった。

発明の開示

この発明は、かかる問題点を解決するためになされたものであり、機械共振抑制フィルタの位相遅れを演算し、その位相遅れに相当する速度成分を実際のモータ速度に加えたものを、制御に使用する速度フィードバック信号とすることで、機械共振フィルタを挿入したことにより生じる位相遅れの影響を低減し、結果としてサーボ系のハイゲイン化を実現できるサーボ制御装置を得ることを目的とする。

この発明は、所定の機械系を駆動するためのサーボモータと、サーボモータの位置及び速度を検出する検出手段と、外部から入力された位置指令信号と検出手段から出力される位置検出信号との差分にもとづき速度指令信号を生成する位置制御手段と、位置制御手段に接続され、サーボモータへ流すべき電流値を示す第一の電流指令信号を生成する速度制御手段と、第一の電流指令信号を機械系の固有振動数による共振及び振動を抑制するための第二の電流指令信号に変換するための機械共振抑制フィルタ手段と、第二の電流指令信号にもとづきサーボモータに流す電流を制御する電流制御手段と、機械共振抑制フィルタ手段を設けたことによる速度指令信号から速度検出信号までの速度ループにおける位相遅れに相当する速度成分を第一の電流指令信号にもとづき演算し、演算により得られた速度成分を位相遅れ補償信号として出力する位相補償手段と、位相遅れ補償信号を速度検出信号に付加することにより速度フィードバック信号を生成する速度フィードバック信号生成手段と、を備え、速度制御手段が、位置制御手段から出力される速度指令信号と速度フィードバック信号との差分にもとづき、第一の電流指令信号を生成することを特徴とするサーボ制御装置である。

また、機械共振抑制フィルタ手段が F I R 型のノッチフィルタから構成される

サーボ制御装置である。

また、機械共振抑制フィルタ手段が、特定周波数以上の周波数成分の除去を行うローパスフィルタから構成されるサーボ制御装置である。

また、ローパスフィルタが積分器を有するサーボ制御装置である。

また、位相補償手段と上記速度フィードバック信号生成手段との間に設けられ第一の電流指令信号の周波数が所定の値より低い場合に、位相遅れ補償信号を低減させる補償信号低減手段を設けたサーボ制御装置である。

また、速度制御手段が、比例制御を行う比例制御部と積分制御を行う積分制御部とから構成され、比例制御部が、位置制御手段から出力される速度指令信号と速度フィードバック信号との差分にもとづき、比例項分電流指令信号を生成し、積分制御部が、位置制御手段から出力される速度指令信号と検出手段から出力される速度検出信号との差分にもとづき、積分項分電流指令信号を生成して、比例項分電流指令信号と積分項分電流指令信号とを合わせたものを、速度制御手段の出力である上記第一の電流指令信号とするサーボ制御装置である。

また、位相補償手段の入力として、比例制御部から出力される比例項分電流指令信号を用いるサーボ制御装置である。

図面の簡単な説明

図 1 は、この発明の実施の形態 1 に係わるサーボ制御装置を示すブロック図、

図 2 は、図 1 のサーボ制御装置における機械共振抑制フィルタと位相補償器の関係を示す部分ブロック図、

図 3 は、この発明の実施の形態 1 の効果を示すブロック図、

図 4 は、この発明の実施の形態 2 における機械共振抑制フィルタと位相補償器の関係を示す部分ブロック図、

図 5 は、この発明の実施の形態 3 における機械共振抑制フィルタと位相補償器の関係を示す部分ブロック図、

図 6 は、この発明の実施の形態 4 に係わるサーボ制御装置を示すブロック図、

図 7 は、この発明の実施の形態 5 に係わるサーボ制御装置を示すブロック図、

図 8 は、この発明の実施の形態 6 に係わるサーボ制御装置を示すブロック図、

図 9 は、機械共振をもつ従来のサーボ制御装置の速度ループの周波数応答を示すグラフ、

図 10 は、機械共振をもつ従来のサーボ制御装置にノッチフィルタを適用した場合の速度ループの周波数応答を示すグラフ、

図 11 は、この発明の実施の形態 1 の効果を示す機械共振をもつサーボ制御装置の速度ループの周波数応答を示すグラフ、

図 12 は、機械共振をもつ従来のサーボ制御装置にローパスフィルタを適用した場合の速度ループの周波数応答を示すブロック図、

図 13 は、この発明の実施の形態 3 の効果を示す機械共振をもつサーボ制御装置の速度ループの周波数応答を示すグラフ、

図 14 は、従来のサーボ制御装置を示すブロック図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、この発明の好適な実施の形態について図面を参照して説明する。

実施の形態 1.

図 1 は、本発明の実施の形態 1 によるサーボ制御装置のブロック図である。図において、1～19 は上述の図 14 で示したものと同様であるため、ここでは説明を省略する。なお、20 は位相補償器であり、速度制御部 3 が出力する電流指令信号 15 を受けて位相遅れ補償信号 21 を出力するものである。また、この実施の形態における機械共振抑制フィルタ 4 は F I R 型のノッチフィルタから構成されている。

この実施の形態 1 におけるサーボ制御装置の動作としては、基本的には図 14 の従来例と同じであるが、異なる点は、この実施の形態においては、速度検出信号 13 に位相補償器 20 の出力である位相遅れ補償信号 21 を加えて、速度フィードバック信号 22 を作成していることである。この実施の形態 1 において、位相補償器 20 は、入力として、機械共振抑制フィルタ 4 への入力信号である電流指令信号 15 と同じものを使用し、機械共振抑制フィルタ 4 を挿入したことによる、速度指令信号 12 から速度検出信号 13 までの速度ループにおける位相遅れ分を演算している。

図2は、この発明の実施の形態1において、機械共振抑制フィルタ4に代表的なFIRフィルタを使用した場合の、位相遅れの補償方法を示している。ここで、電流指令信号16から電流フィードバック信号17までの電流ループの応答性は一般的に、その外のループである速度ループの応答性に対して十分に高いので、電流指令信号16はそのままサーボモータ7に流れる電流値として扱うことができる。図2に示すように、この実施の形態においては、機械共振抑制フィルタ4は、 (k) の項4aと、 (z^{-n}) の項4bと、 $(1-k)$ の項4cと、 $(1/2k)$ の項4dとから構成されている。電流指令信号15が項4a及び項4bに入力され、項4aの出力に項4b及び項4cを介した出力を加えたものを項4dに入力し、項4dからの出力を機械共振抑制フィルタ4の出力16とする。また、位相補償器20は、 (k) の項20aと、 (z^{-n}) の項20bと、 $(1-k)$ の項20cと、 $(1/2k)$ の項20dと、 $(Kt\text{ハット}/J\text{ハット}s)$ の項24とから構成されている。電流指令信号15が項20a及び項20bに入力され、項20aの出力から、項20b及び項20cを介した出力を差し引いたものを項20dに入力し、さらに、項20dからの出力を項24に入力して、項24からの出力を位相補償器20の出力21とする。なお、図2中の (Kt/Js) の項23は、モータ電流からモータの速度までを表わした項であり、モータ電流17(=電流指令信号16)から速度検出信号13までの伝達関数となる。同様に、図2の $(Kt\text{ハット}/J\text{ハット}s)$ の項24は、制御系からみたモータ電流17から速度検出信号13までの伝達関数となる。ここで、 Kt はモータ電流に対してサーボモータ7の出力するトルクの比を表わすモータのトルク定数であり、 J は機械系18およびサーボモータ7を含めたモータ軸換算負荷イナーシャである。このとき、位相遅れ補償は、サーボ制御装置内部で、図2に示した構成(20a~20d及び24)を有する位相補償器20により演算する。尚、モータのトルク定数 Kt およびモータ軸換算負荷イナーシャ J は設計値、あるいは、サーボモータ7および機械製作時の実測値から Kt は既知とできる。なお、図2の (k) の項4a及び20a、および、 $(1-k)$ の項4c及び20cにおける係数 k は、ノッチフィルタ(デジタルフィルタ)が有する所定の比例定数であり、一般的なノッチフィルタでは $k=0.5$ という値が用いられている。 $k=0.$

5のときが入力された信号のもつフィルタの中心周波数付近の信号成分が最も除去され、 k の値を0.5から1に近づけていくと除去される信号成分が減少する。また、 (z^{-n}) の項4b及び20bにおける z^{-n} という記号は、離散時間を表すときに用いられる一般的な記号である。実際のデジタル制御では、ある固定の周期（サンプリング周期）毎にCPUが処理を実行することが知られているが、 (z^{-n}) とは、そのサンプリングされた n 回前のサンプリングデータを出力する関数を示す。

ここで、図3は、図2中の $(Kt\text{ハット}/Js)$ の項24が実際の (Kt/Js) の項23と等しいとした場合の機械共振抑制フィルタ4入力前の電流指令信号15から速度フィードバック22までのブロック図を表わしたものである。図2からわかるように、機械共振抑制フィルタ4の構成要素と位相補償器20の構成要素の違いは2つであり、1つは、位相補償器20内に $(Kt\text{ハット}/Js)$ の項24が余分に設けられている点で、他の構成要素4a~4c及び20a~20cは互いに相当するものである。もう1つは、上述したように、機械共振抑制フィルタ4においては、 k の項4aの出力信号に $(1-k)$ の項4cの出力信号を加えているが、位相補償器20においては、逆に、 k の項20aの出力信号から $(1-k)$ の項20cの出力信号を差し引いている。従って、項23と項24が同じ場合には、 $(1-k)$ の項4cの出力と $(1-k)$ の項20cの出力とが相殺される形となって、図3のブロック図のようになる。

このように、図1及び図2のブロック図に示す位相補償器20により機械共振抑制フィルタ4による位相の遅れは補正され、機械共振抑制フィルタ4を挿入することで生じる位相遅れは改善される。また、位相補償器20は、機械共振抑制フィルタ4によりゲインがカットされた周波数帯域を補償する形で構成されているため、位相補償の必要がない低周波数帯域においてはその位相補償信号21はほとんど無視でき、実機械速度である速度検出信号13と速度指令信号12はほぼ一致する。

図9は、機械共振を約600Hzにもつ従来のサーボシステムの速度指令から速度フィードバックまでの速度ループの周波数応答を示すシミュレーション結果である。ここで、この600Hzの共振はそのゲインが0dBを超えており、サ

ーボ制御系および機械系に対しても悪影響を及ぼす。そこで、図10はこのようなシステムにおいて、ノッチフィルタを速度制御部3の後ろに挿入した図14に示す従来のサーボシステムの場合を示す。この時、600Hzの機械共振の影響は緩和できているものの、ノッチフィルタの位相遅れの影響で速度制御の帯域において、ゲインが0dBを超えて盛り上がり、また位相余裕もなくなっており、速度制御ループとして不安定なシステムとなっていることがわかる。ここで、図11は、本発明の実施の形態1による図1および図2の位相補償器20を導入した場合のサーボ制御装置の速度指令信号12から速度検出信号13までの速度ループ周波数応答を表わしている。このとき、図10に見られた速度制御帯域におけるゲインの盛り上がりも無くなり、位相余裕も得られた安定した制御ループとすることができている。

上述したように、サーボモータを用いて工作機械や駆動装置の送り軸の位置を制御するサーボ制御装置においては、機械系のもつ固有振動数による共振や機械振動を抑制しサーボ系のハイゲイン化をはかる目的で、通常、機械共振抑制フィルタ4が挿入される。しかしながら、機械共振周波数が低く、速度ループや位置ループの制御帯域に近づいた場合、機械共振抑制フィルタ4を挿入するとそのフィルタのもつ位相遅れにより、サーボ制御系の位相余裕がなく不安定なシステムとなる場合がある。このような場合、結局、サーボループの制御帯域を落として対処せざるを得なく、サーボ系のハイゲイン化がはかれず高応答で高性能なサーボシステムを得ることが困難であったが、本発明によれば、このような機械共振抑制フィルタの位相遅れを演算し、その位相遅れに相当する速度成分を実際のモータ速度に加えた速度フィードバック信号22を制御に使用することで、機械共振フィルタを挿入したことにより生じる位相遅れの影響を低減し、結果としてサーボ系のハイゲイン化を実現することができる。

実施の形態2.

図4は、この発明の実施の形態2によるサーボ制御装置の部分ブロック図である。図4に示されていない他の構成については上述の図1と同様であるため、図1を参照する。実施の形態2においては、図1の機械共振抑制フィルタ4の代わ

りに、ローパスフィルタからなる機械共振抑制フィルタ 4 A を使用した場合の、位相遅れの補償方法を示している。機械共振抑制フィルタ 4 A は、図 4 に示すように、 $(1/(s+\alpha))$ の項 4 e の一次遅れ系から構成されている。また、この実施の形態 2 における位相補償器 20 A は、図 4 に示すように、 s の項 20 e と、 $(1/s)$ の項 20 f と、 α の項 20 g と、 $(K_t \text{ ハット } / J \text{ ハット } s)$ の項 24 とから構成されている。ここで、 s はラプラス演算子であり、 s は微分、 $1/s$ は積分を示す。ここで、電流指令信号 16 から電流フィードバック信号 17 までの電流ループの応答性は、一般的に、その外のループである速度ループの応答性に対して十分に高いので、上述の図 2 同様、電流指令信号 16 はそのままサーボモータ 7 に流れる電流値として扱うことができる。

ここで、実施の形態 1 と同様に、図 4 中の $(K_t \text{ ハット } / J \text{ ハット } s)$ の項 24 が実際の $(K_t / J s)$ の項 23 と等しいとした場合には機械共振抑制フィルタ 4 A 入力前の電流指令信号 15 から速度フィードバック 22 までの伝達関数は、図 3 のブロック図で表わすことができる。したがって、図 1 及び図 4 のブロック図に示す位相補償により機械共振抑制フィルタ 4 A による位相の遅れは補正され、機械共振フィルタを挿入することで生じる位相遅れは改善される。また、位相補償器 20 A は機械共振抑制フィルタ 4 A によりゲインがカットされた周波数帯域を補償する形で構成されているため、位相補償の必要がない低周波数帯域においてはその位相補償信号 21 はほとんど無視でき、実機械速度である速度検出信号 13 と速度指令信号 12 はほぼ一致する。

上述したように、機械共振抑制フィルタとしてはできるだけ抑制したい周波数成分にだけフィルタ効果を作用させたい目的で、ノッチフィルタが使用されるが、多くの周波数の機械共振をもつシステムの場合、ノッチフィルタでは対処できない場合がある。このような場合、フィルタとして、特定周波数以上の周波数成分の除去を行うローパスフィルタが効果的であるが、ローパスフィルタで共振を機械抑制しようとした場合、そのカットオフ周波数はかなり低いところに設定しなくてはならず、サーボ制御帯域に及ぼす影響も大きくなりサーボ系のハイゲイン化も困難となる。しかしながら、本実施の形態によれば、このように機械共振抑制フィルタにローパスフィルタを用いた場合でも、その位相遅れを補償するこ

とで、制御系を安定にハイゲイン化することができる。

実施の形態 3.

図 5 は、この発明の実施の形態 3 によるサーボ制御装置の部分ブロック図である。ここでは、上述の図 4 の位相補償器 20 A の構成で行っていた電流指令信号 15 の微分器 20 e を無くし、かつ、項 24 の積分動作を無くして一次遅れ系で位相補償器 20 B を構成することにより、電流指令 15 に含まれるノイズなどの影響による位相遅れ補償信号 21 の誤差を低減する。この実施の形態においては、図 5 に示すように、位相補償器 20 B は、 $(1/(s + \alpha))$ の項 20 h と、 $(K_t \text{ ハット } / J \text{ ハット })$ の項 24 B とから構成されている。他の構成については、上述の図 1 及び図 4 と同様であるため、ここでは説明を省略する。

ここで、図 12 は、図 9 の速度ループ周波数応答を示す機械共振を約 600 Hz にもつサーボシステムにおいて、100 Hz にカットオフ帯域をもつローパスフィルタを機械共振抑制フィルタとして速度制御部 3 の後ろに挿入した場合における従来のサーボシステムの速度ループ周波数応答を示したものである。ここでも、ローパスフィルタによる位相の遅れにより速度制御の帯域において、ゲインが 0 dB を超えて盛り上がり、また位相余裕もなくなっており、速度制御ループとして不安定なシステムとなる。

ここで、図 13 は、図 1 および図 5 に示した本実施の形態における位相補償器 20 B を導入した場合のサーボシステムの速度指令 12 から速度検出信号 13 までの速度ループ周波数応答を表わしている。このとき、図 12 に見られた速度制御帯域におけるゲインの盛り上がりも無くなり、位相余裕も得られた安定した制御ループとすることができている。

以上のように、この実施の形態においては、上記実施の形態 1 と同様の効果が得られるとともに、さらに、機械共振抑制フィルタにローパスフィルタを用いた場合の位相遅れ補償演算を簡単な一次遅れで構成することにより、電流指令に含まれるノイズなどの影響による位相遅れ補償信号に生じる誤差を低減できる。

実施の形態 4.

図 6 は、この発明の実施の形態 4 によるサーボ制御装置のブロック図である。図 6 に示す構成は、基本的には図 1 と同様であるが、この実施の形態においては、速度検出信号 13 に位相補償器 20 の出力である位相遅れ補償信号 21 を加える前に、更に、特定周波数以下の周波数成分の除去を行うハイパスフィルタ 25 を挿入し、電流指令信号 15 の周波数が低い場合には、低周波域の位相遅れ補償分の信号を低減させるものである。ここで、機械共振抑制フィルタ 4、および、位相補償器 20 は、本発明の上述した実施の形態 1、2 及び 3 のいずれのものをを用いるようにしてもよい。

この発明においては、機械共振抑制フィルタによる位相遅れを補償することを目的としているが、この位相遅れは上記フィルタが通常、制御帯域より高い周波数の機械共振などを抑制することを目的に挿入されるため、低周波数帯域においてはもともと位相補償の必要性がない。もともとこの発明の実施の形態 1、2 及び 3 における位相補償器 20 は機械共振抑制フィルタによりゲインがカットされた周波数帯域を補償する形で構成されているため、位相補償の必要性がない低周波数帯域においてはその位相補償信号 21 はほとんど無視でき、実機械速度である速度検出信号 13 と速度指令信号 12 はほぼ一致する。しかし、機械共振抑制フィルタの設定周波数が低い場合に、例えば、電流指令信号 15 の周波数が所定の値より低いと、位相遅れ補償信号 21 の影響が機械の位置決め精度等に影響がある場合がある。そのような場合には、本実施の形態における図 6 に示したハイパスフィルタ 25 を挿入し、特定周波数以下の周波数成分を除去することにより、位相補償信号 21 を低減させるようにすれば、この影響を軽減することができる。このように、ハイパスフィルタ 25 は、位相遅れ補償信号を低減させるための補償信号低減手段を構成している。

この実施の形態においては、機械共振抑制フィルタの設定周波数が低く、位相遅れ補償信号 21 の影響が機械の位置決め精度等に影響がある場合においても、位相遅れ補償信号 21 の出力にハイパスフィルタ 25 を挿入することでこの影響を軽減することができる。

実施の形態 5.

図7はこの発明の実施の形態5によるサーボ制御装置を示したブロック図である。この実施の形態5における速度制御部3は、P I制御を基本構成としている。ここで、機械共振抑制フィルタ4、および、位相補償器20は、本発明の上述の実施の形態1、2及び3のいずれのものも適用することができる。また、図7において、28は比例制御部、29は積分制御部、27は速度指令信号12と実機械速度を表わす速度検出信号13との偏差信号、30は比例制御部28から出力される比例項分電流指令信号、31は積分制御部29から出力される積分項分電流指令信号である。なお、速度制御部3の出力である電流指令信号15は、比例項分電流指令信号30と積分項分電流指令信号31とを合わせたものから構成されている。

この実施の形態においては、位相補償器20の出力信号21により実機械速度である速度検出信号13と速度指令信号12の間の偏差を補償することを目的とし、機械共振抑制フィルタ4による位相遅れが問題とならない低周波数帯域で上記偏差を0にするために、P I制御のうちでもI制御、つまり積分制御を行う積分制御部29の入力に、実機械速度である速度検出信号13と速度指令信号12の偏差である偏差信号27を入力し、高周波数帯域での機械共振抑制フィルタ4の位相遅れを補償するためにP I制御のうちでもP制御、つまり比例制御を行う比例制御部28の入力には、速度検出信号13に位相遅れ補償信号21を負荷した速度フィードバック信号22と速度指令信号12の偏差である偏差信号14を入力する。

以上のように、この実施の形態においては、速度制御部3CにおけるP I制御において、P制御である比例制御部28の入力には速度指令信号12と位相遅れ補償分21を加えた速度フィードバック信号22との差分を、I制御である積分制御部29の入力には速度指令信号12と位相遅れ補償分21を加えない速度検出信号（速度フィードバック信号）13との差分を用いることで、位相遅れ補償分21を速度フィードバックに加えたことで生じる速度指令信号12と実際の速度フィードバックの誤差を無くすることができる。

実施の形態6.

図8は、この発明の実施の形態6によるサーボ制御装置のブロック図である。この実施の形態6では、速度制御部3Dが、PI制御を基本構成とした場合についての構成を示している。この実施の形態における速度制御部3Dの構成は、基本的には、上述した図7の速度制御部3Cの構成と同様であるが、この実施の形態においては、位相補償器20への出力を電流指令信号15とせず、比例制御部28の出力信号である比例項分電流指令信号30とした点が異なる。ここで、機械共振抑制フィルタ4、および、位相補償器20は、この発明の上述した実施の形態1、2及び3のいずれのものも適用することができる。

この実施の形態においては、機械系18の摩擦や負荷トルク、あるいは、重力軸等に適用した場合のアンバランストルクなどが大きいシステムにおいて、PI制御の出力する電流指令信号15が、これらのトルクの影響によりサーボモータ7の加速や減速の直接のモータ回転の動きに現れない静的な値を示した場合に、本来必要とする値より大きな位相遅れ補償信号21が発生することにより、実機械速度である速度検出信号13と速度指令信号12の間の偏差を発生させることがないように構成したものである。つまり、上記の機械系18の摩擦や負荷トルク、あるいは、重力軸等に適用した場合のアンバランストルクなどに対応した電流指令信号15は、図8中の積分項分電流指令信号31によるものが大きく比例項分電流指令信号30の占める割合は少ない。逆に高周波数帯域では比例項分電流指令30が占める割合が高くなる。したがって、この実施の形態においては、位相遅れ補償を行うための演算に使用する信号としては、比例項分電流指令信号30を使用するようにした。これにより、機械共振抑制フィルタ4に対してはその位相遅れを補償でき、摩擦や負荷トルク、あるいは重力軸等に適用した場合のアンバランストルク等により不必要に位相遅れ補償信号21が大きくなることは改善できる。

上述したように、この実施の形態においては、位相補償器20の入力信号として、電流指令信号15ではなく、比例制御部28の出力する比例項分電流指令信号30を用いることで、機械系18の負荷トルクやアンバランストルクにより電流指令信号15が静的にある値をもつ場合に位相遅れ補償信号21が大きくなり、速度指令信号12と実際の速度検出信号13（速度フィードバック信号）の誤

差が大きくなるのを防止することができる。

産業上の利用の可能性

この発明は、所定の機械系を駆動するためのサーボモータと、サーボモータの位置及び速度を検出する検出手段と、外部から入力された位置指令信号と検出手段から出力される位置検出信号との差分にもとづき速度指令信号を生成する位置制御手段と、位置制御手段に接続され、サーボモータへ流すべき電流値を示す第一の電流指令信号を生成する速度制御手段と、第一の電流指令信号を機械系の固有振動数による共振及び振動を抑制するための第二の電流指令信号に変換するための機械共振抑制フィルタ手段と、第二の電流指令信号にもとづきサーボモータに流す電流を制御する電流制御手段と、機械共振抑制フィルタ手段を設けたことによる速度指令信号から速度検出信号までの速度ループにおける位相遅れに相当する速度成分を第一の電流指令信号にもとづき演算し、演算により得られた速度成分を位相遅れ補償信号として出力する位相補償手段と、位相遅れ補償信号を速度検出信号に付加することにより速度フィードバック信号を生成する速度フィードバック信号生成手段と、を備え、速度制御手段が、位置制御手段から出力される速度指令信号と速度フィードバック信号との差分にもとづき、第一の電流指令信号を生成することを特徴とするサーボ制御装置であるので、機械共振抑制フィルタによる位相遅れを演算し、その位相遅れに相当する速度成分を実際のモータ速度に加えた速度フィードバック信号を制御に用いるようにしたので、機械共振抑制フィルタを挿入したことにより生じる位相遅れの影響を低減し、結果としてサーボ系のハイゲイン化を実現できる効果がある。

また、機械共振抑制フィルタ手段がFIR型のノッチフィルタから構成されるので、容易に固定周波数成分を取り除くことができ、製造も容易で、かつ、フィルタによる位相遅れに相当する速度成分を実際のモータ速度に加えた速度フィードバック信号を制御に用いるようにしたので、機械共振抑制フィルタを挿入したことにより生じる位相遅れの影響を低減し、結果としてサーボ系のハイゲイン化を実現できる効果がある。

また、機械共振抑制フィルタ手段が、特定周波数以上の周波数成分の除去を行

うローパスフィルタから構成されるサーボ制御装置であるので、容易に所定の周波数以上のゲインを落とすことができるとともに、かつ、フィルタによる位相遅れに相当する速度成分を実際のモータ速度に加えた速度フィードバック信号を制御に用いるようにしたので、機械共振抑制フィルタを挿入したことにより生じる位相遅れの影響を低減し、結果としてサーボ系のハイゲイン化を実現できる効果がある。

また、ローパスフィルタが積分器を有するサーボ制御装置であるので、積分器による簡単な一次遅れ系で構成することにより、電流指令信号に含まれるノイズなどの影響による位相遅れ補償信号に生じる誤差を低減できる効果がある。

また、位相補償手段と上記速度フィードバック信号生成手段との間に設けられ第一の電流指令信号の周波数が所定の値より低い場合に、位相遅れ補償信号を低減させる補償信号低減手段を設けたサーボ制御装置であるので、機械共振抑制フィルタの設定周波数が低く、位相遅れ補償信号の影響が機械の位置決め精度に影響がある場合に対しても、位相遅れ補償信号の出力に補償信号低減手段を挿入することで、この影響を軽減できる効果がある。

また、速度制御手段が、比例制御を行う比例制御部と積分制御を行う積分制御部とから構成され、比例制御部が、位置制御手段から出力される速度指令信号と速度フィードバック信号との差分にもとづき、比例項分電流指令信号を生成し、積分制御部が、位置制御手段から出力される速度指令信号と検出手段から出力される速度検出信号との差分にもとづき、積分項分電流指令信号を生成して、比例項分電流指令信号と積分項分電流指令信号とを合わせたものを、速度制御手段の出力である上記第一の電流指令信号とするサーボ制御装置であるので、位相遅れ補償を速度フィードバックに加えたことで生じる速度指令信号と実際の速度フィードバック信号との誤差を無くす効果がある。

また、位相補償手段の入力として、比例制御部から出力される比例項分電流指令信号を用いるサーボ制御装置であるので、機械系の負荷トルクやアンバランストルクにより電流指令が静的に所定のある値をもつ場合に位相補償信号が大きくなり、速度指令信号と実際の速度フィードバック信号の誤差が大きくなるのを防止する効果がある。

請 求 の 範 囲

1. 所定の機械系を駆動するためのサーボモータと、

上記サーボモータの位置及び速度を検出する検出手段と、

外部から入力された位置指令信号と上記検出手段から出力される位置検出信号との差分にもとづき速度指令信号を生成する位置制御手段と、

上記位置制御手段に接続され、上記サーボモータへ流すべき電流値を示す第一の電流指令信号を生成する速度制御手段と、

上記第一の電流指令信号を上記機械系の固有振動数による共振及び振動を抑制するための第二の電流指令信号に変換するための機械共振抑制フィルタ手段と、

上記第二の電流指令信号にもとづき上記サーボモータに流す電流を制御する電流制御手段と、

上記機械共振抑制フィルタ手段を設けたことによる上記速度指令信号から上記速度検出信号までの速度ループにおける位相遅れに相当する速度成分を上記第一の電流指令信号にもとづき演算し、演算により得られた上記速度成分を位相遅れ補償信号として出力する位相補償手段と、

上記位相遅れ補償信号を上記速度検出信号に付加することにより速度フィードバック信号を生成する速度フィードバック信号生成手段と、

を備え、

上記速度制御手段が、上記位置制御手段から出力される上記速度指令信号と上記速度フィードバック信号との差分にもとづき、上記第一の電流指令信号を生成することを特徴とするサーボ制御装置。

2. 上記機械共振抑制フィルタ手段がFIR型のノッチフィルタから構成されることを特徴とする請求項1記載のサーボ制御装置。

3. 上記機械共振抑制フィルタ手段が、特定周波数以上の周波数成分の除去を行うローパスフィルタから構成されることを特徴とする請求項1記載のサーボ制御装置。

4. 上記ローパスフィルタが積分器を有することを特徴とする請求項3記載のサーボ制御装置。

5. 上記位相補償手段と上記速度フィードバック信号生成手段との間に設けられ、上記第一の電流指令信号の周波数が所定の値より低い場合に、上記位相遅れ補償信号を低減させる補償信号低減手段を設けたことを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載のサーボ制御装置。

6. 上記速度制御手段が、比例制御を行う比例制御部と積分制御を行う積分制御部とから構成され、

上記比例制御部が、上記位置制御手段から出力される上記速度指令信号と上記速度フィードバック信号との差分にもとづき、比例項分電流指令信号を生成し、

上記積分制御部が、上記位置制御手段から出力される上記速度指令信号と上記検出手段から出力される上記速度検出信号との差分にもとづき、積分項分電流指令信号を生成して、

上記比例項分電流指令信号と上記積分項分電流指令信号とを合わせたものを、上記速度制御手段の出力である上記第一の電流指令信号とすることを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載のサーボ制御装置。

7. 上記位相補償手段の入力として、上記比例制御部から出力される上記比例項分電流指令信号を用いることを特徴とする請求項 6 記載のサーボ制御装置。

図 1

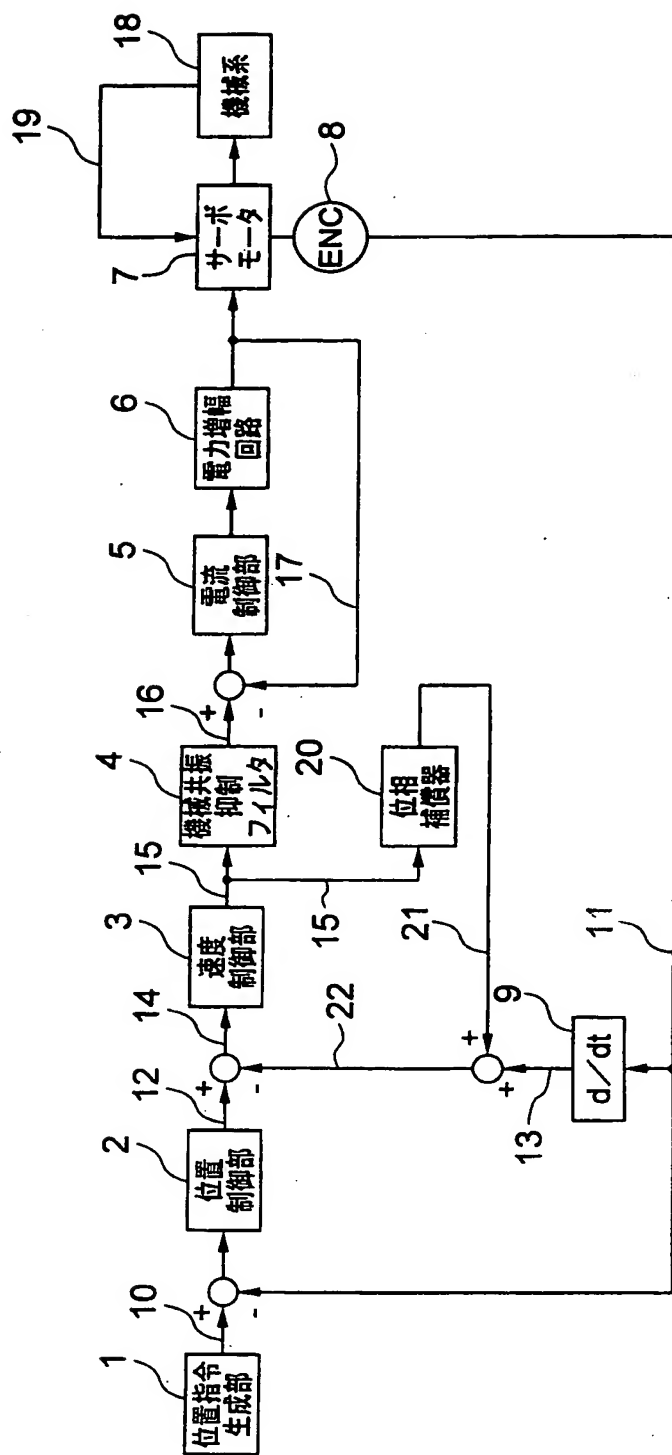


図 2

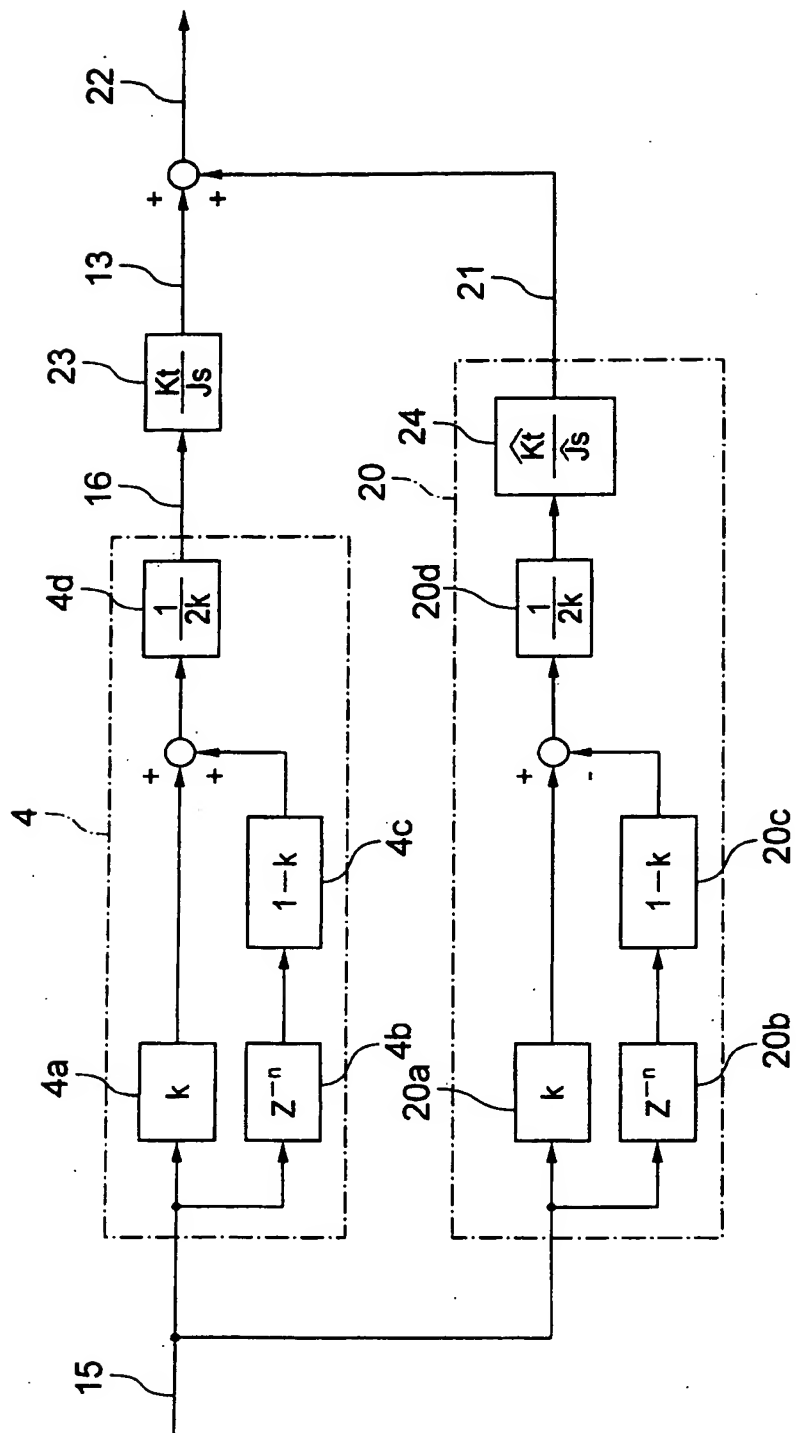


図 3

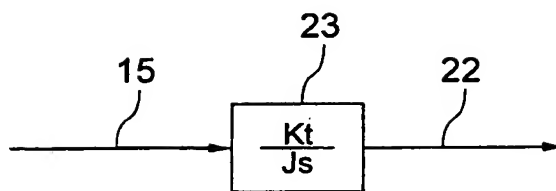


図 4

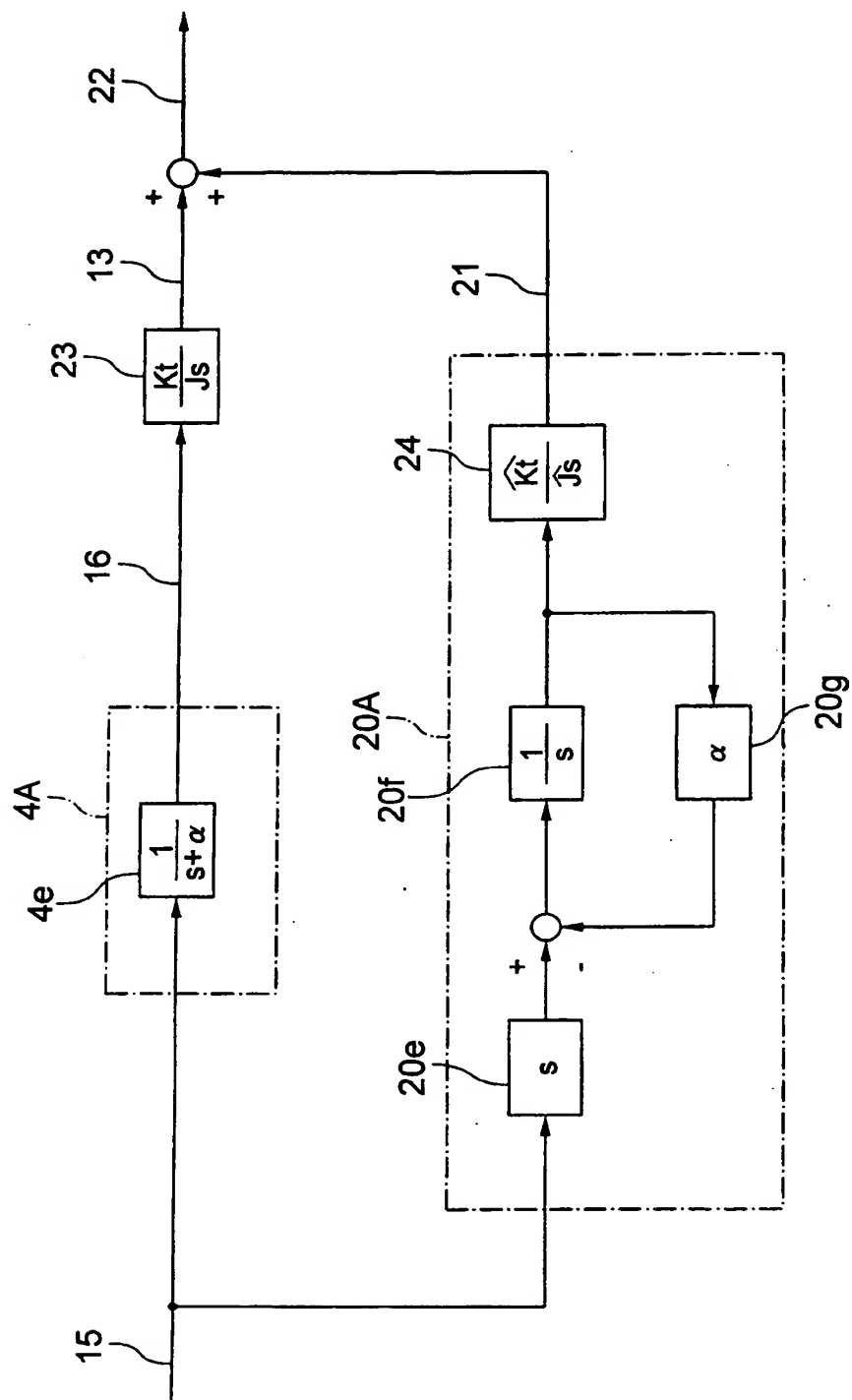


図 5

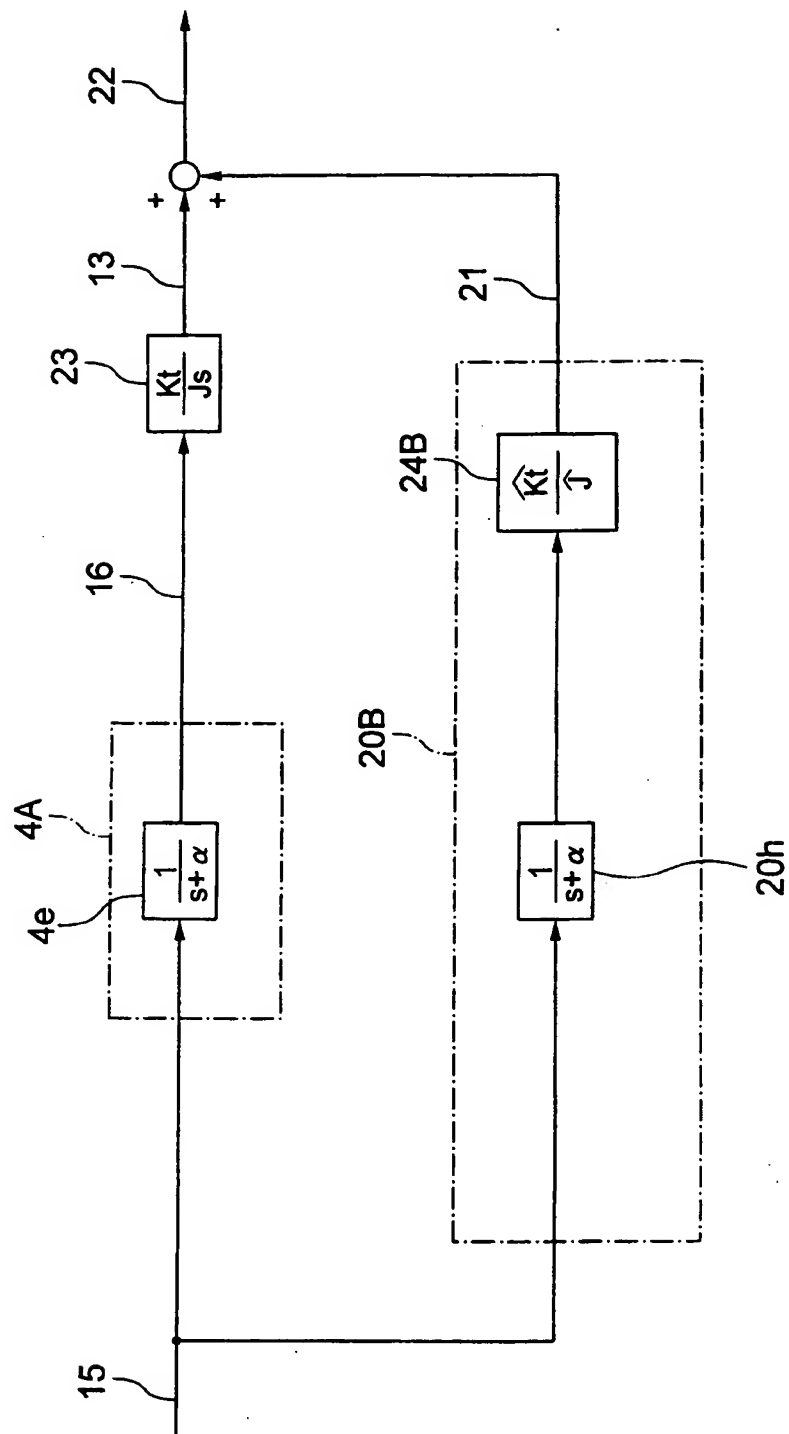


図 6

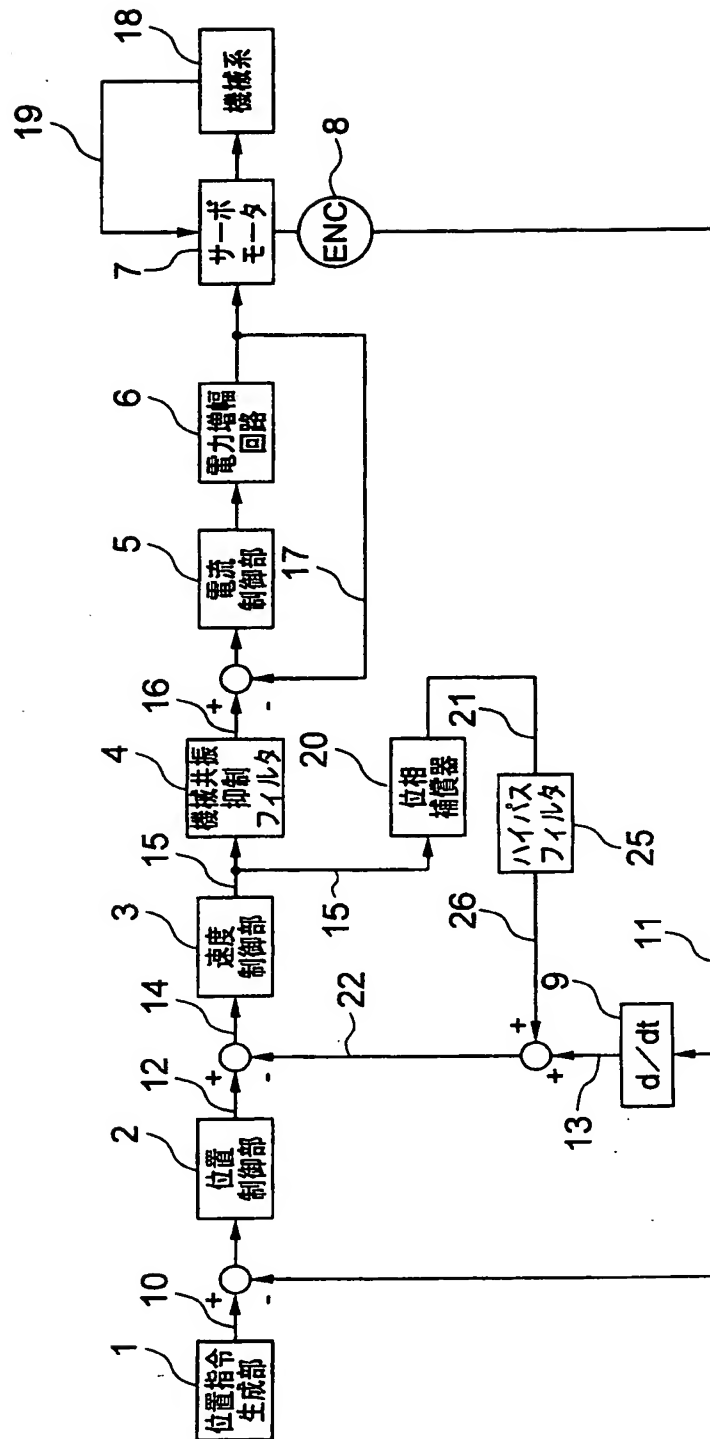


図 7

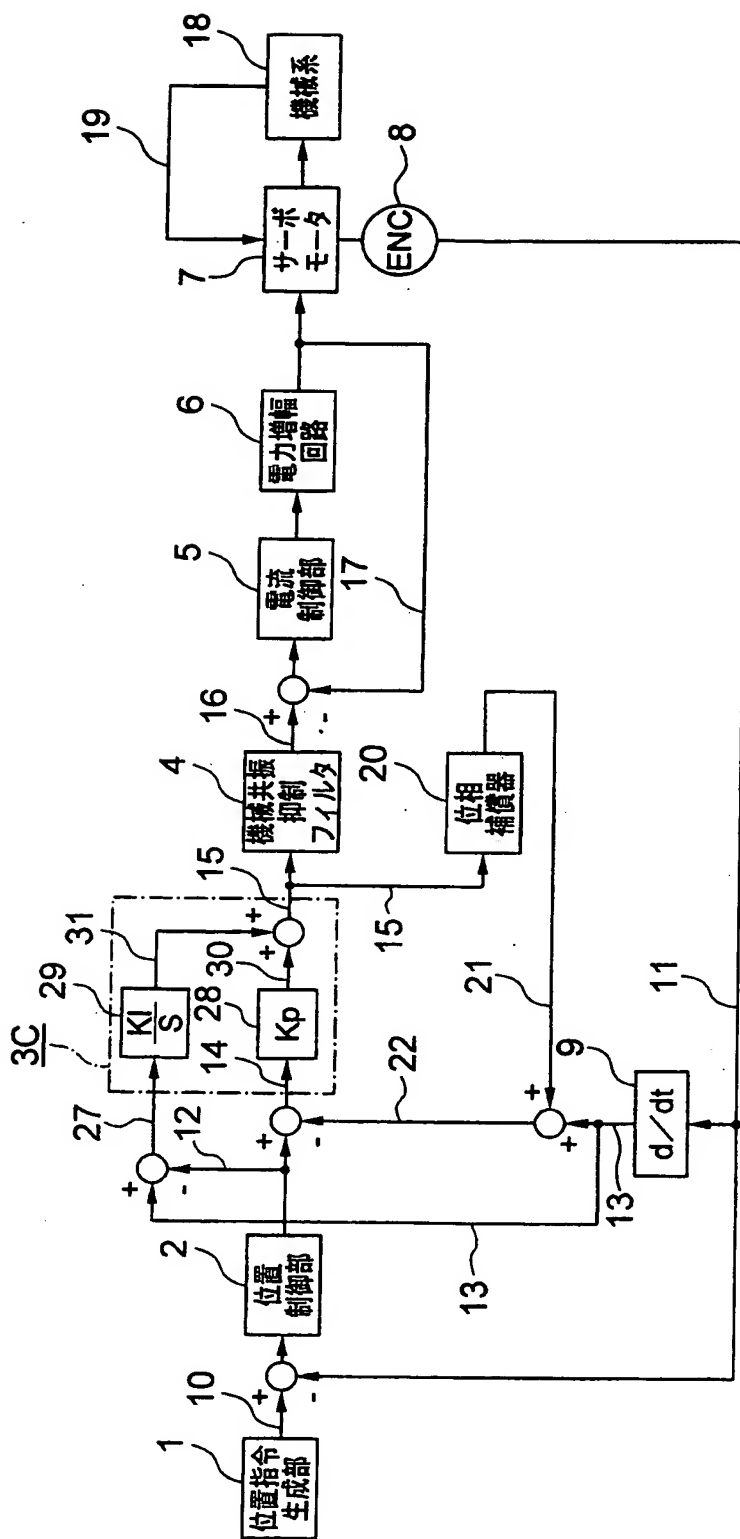


図 8

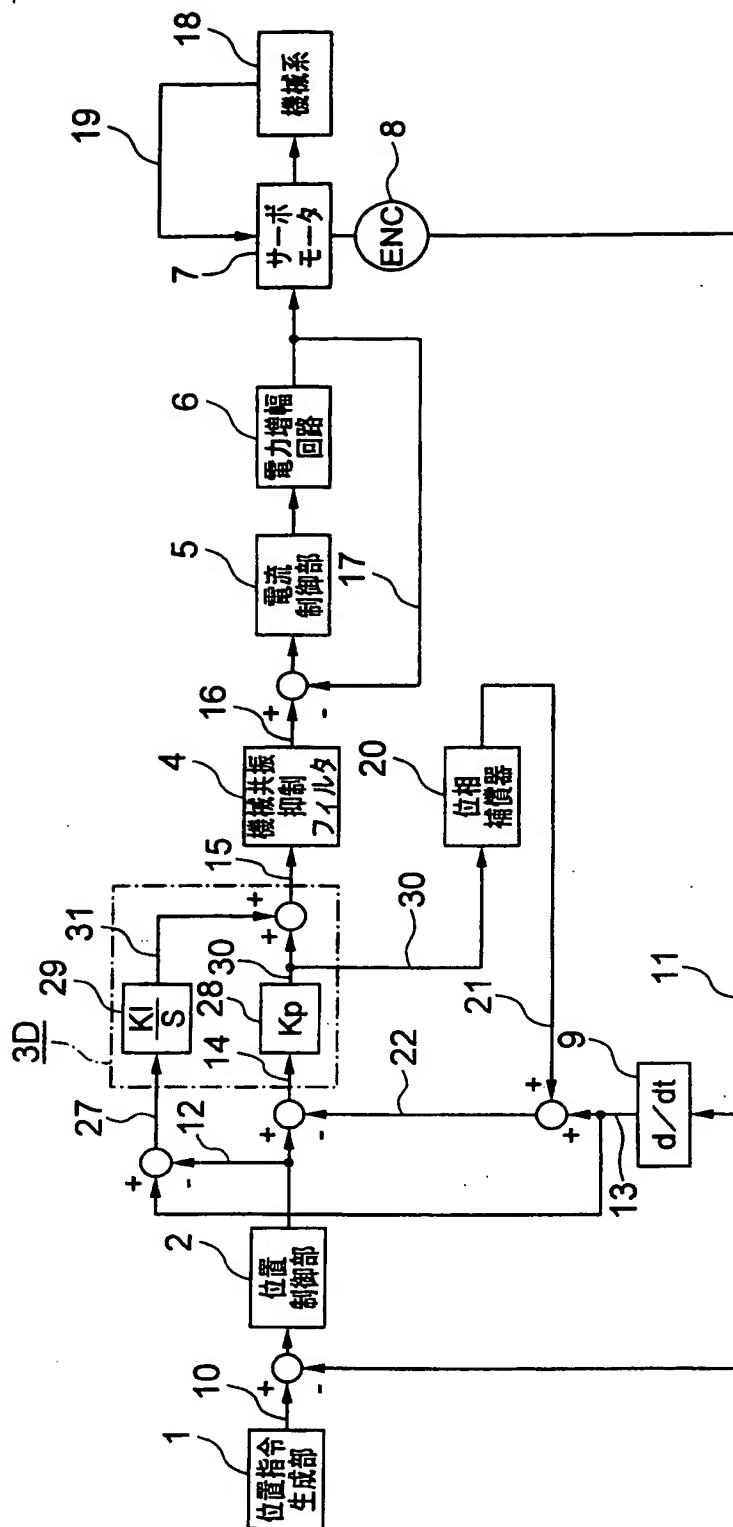


図 9

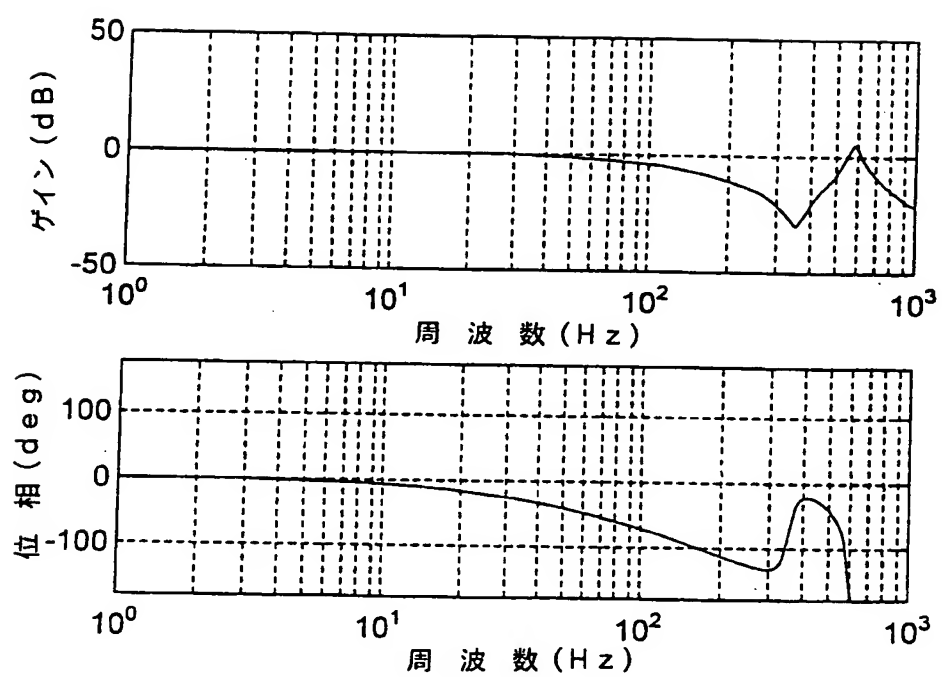


図 10

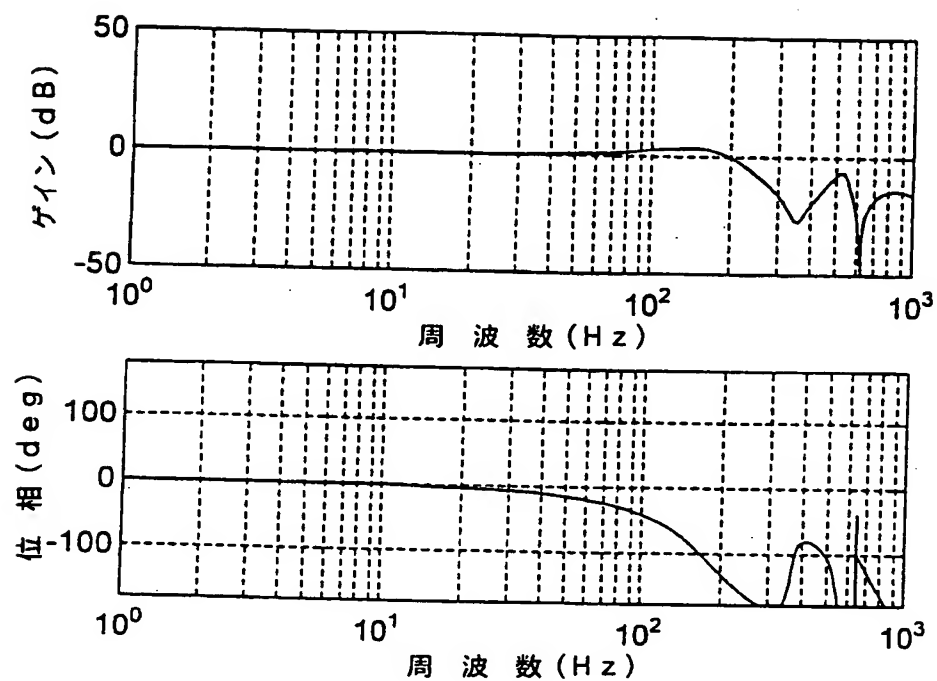
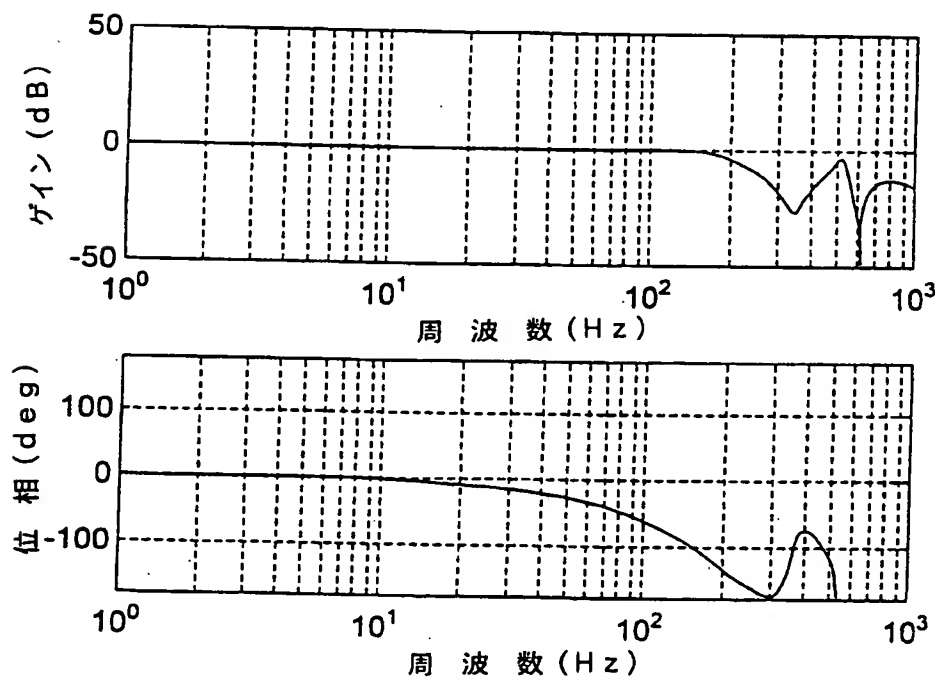


図 11



10/12

図 12

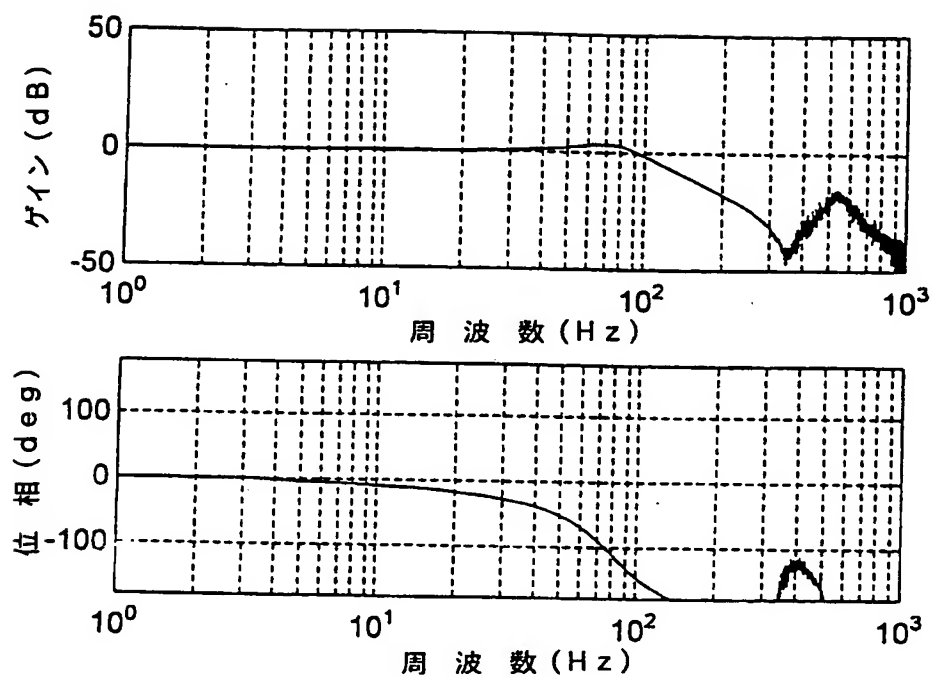


図 13

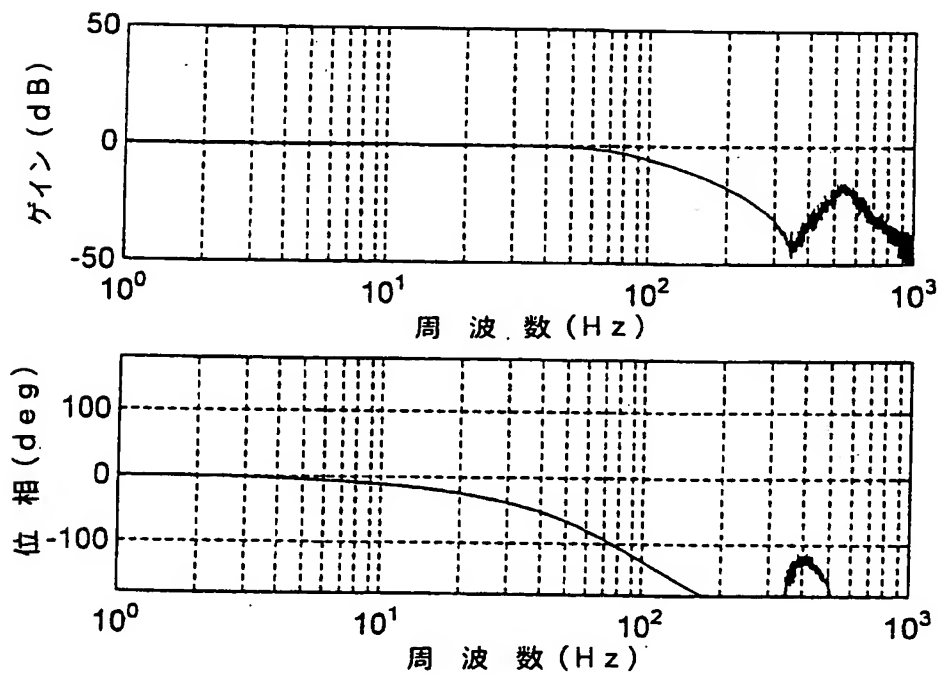
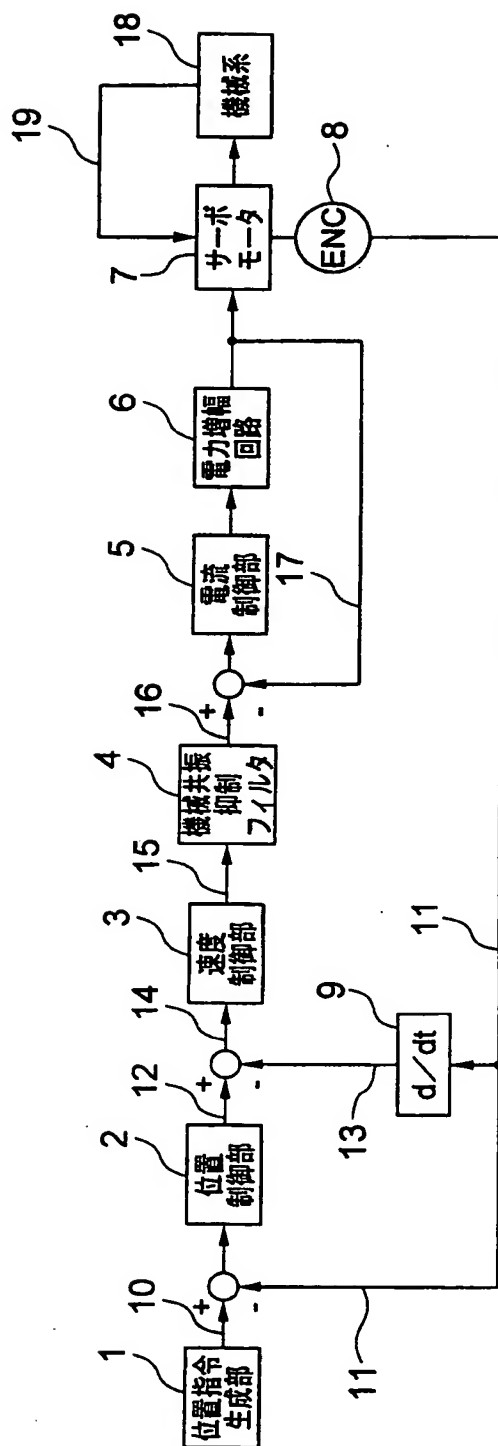


図 14



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/02521

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁶ H02P5/00, G05B11/36

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁶ H02P5/00-5/52, G05B11/36

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 64-64576, A (Hitachi, Ltd.), 10 March, 1989 (10. 03. 89), Page 1, right column, lines 3 to 6 ; page 2, upper left column, lines 5 to 12 (Family: none)	1-7
A	JP, 9-320076, A (Olympus Optical Co., Ltd.), 12 December, 1997 (12. 12. 97), Fig. 7 (Family: none)	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
10 August, 1999 (10. 08. 99)

Date of mailing of the international search report
24 August, 1999 (24. 08. 99)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl.⁸ H02P5/00, G05B11/36

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl.⁸ H02P5/00-5/52, G05B11/36

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-1999年
日本国登録実用新案公報 1994-1999年
日本国実用新案登録公報 1996-1999年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP, 64-64576, A (株式会社日立製作所) 10. 3月. 1989 (10. 03. 89), 第1頁右欄第3行目-第6行目, 第2頁左上欄第5行目-第12行目 (ファミリーなし)	1-7
A	JP, 9-320076, A (オリンパス光学工業株式会社) 12. 12月. 1997 (12. 12. 97), 図7 (ファミリーなし)	1-7

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリ

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 10. 08. 99

国際調査報告の発送日 24.08.99

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
紀本 孝

3V 8815

電話番号 03-3581-1101 内線 3356